

氣候變遷與台灣生態研究方向

李培芬

臺灣大學生態學與演化生物學研究所教授兼所長

端木茂甯

臺灣大學生態學與演化生物學研究所

摘要

全球氣候變遷直接或間接地影響到自然生態系統的各層級，在個體、族群、群聚、生態系、地景上產生不同的影響。若無法有效降低溫室氣體的排放，模式分析的結果顯示，將來生態系統會持續惡化，同時也將有物種滅絕、外來種的問題、棲地的消失等更多新的危機。台灣為一小島，生態系統多樣性極為複雜，從生態學的觀點而言，是一個極具價值的區域。島嶼生態系在本質上比較脆弱，在氣候變遷的壓力下，所受到的衝擊將更為顯著，且能採取的因應對策，也因腹地的缺乏而更加困難。有關氣候變遷對於生態之衝擊，在國際上的研究很多，然而台灣在這方面的成果卻非常有限。在普遍缺乏基礎資料與研究之下，將難以分析氣候變遷可能帶來的衝擊，也難以據此訂立適宜的調適策略。因此，進行關於氣候變遷與生態系統的相關研究工作，刻不容緩，本文建議的研究議題與重點如下：一、長期監測與資料的收集（兼顧生態系統各層面及相互關係、跨領域並探討不同面向的關係、採用標準的資料收集方式、著重物種間關係與生態系功能、著重人類活動對生態系統的影響、配合整合性資料庫的建立、促進資料的流通）、二、預測模式的建立與評估（考量物種間的關係、考量物種的遷移能力、考量人類活動的影響、動態模式的建立、跨領域統整性模式的建立、發展模式評估方法）、三、預警系統的建立（發展氣候變遷的生物性指標、配合監測系統、應用預測模式、發展因應措施與策略）、四、調適策略的擬定（納入生態系統進行整合性的考量、擬定具彈性的經營管理策略、配合監測與預警系統、建立恢復機制、減少環境破壞與提升調適能力並進、界定敏感區域、脆弱區域、脆弱度的定量評估、調適策略優先順序的訂定）。



一、前言

工業革命以來，人類的活動大量增加了溫室氣體的排放，造成大氣組成的改變，溫室效應逐漸嚴重。溫室效應所導致的全球暖化現象，造成全球氣溫升高；降雨模式產生變化；水災、乾旱、風災等異常氣候發生的強度與頻率改變；海平面的上升；湧昇流與洋流模式的改變⁽¹⁾，這些變化直接或間接地影響到自然生態系統。

由於生態系統是一個階層性的複雜系統，各個層級內、層級間都有錯綜複雜的交互關係。系統屬於開放性，與外在環境產生連結並互相影響。故氣候變遷對於生態系的衝擊，會藉由這些交互作用，在各層級上造成影響（圖1）。在個體的層級方面，可能造成的影響有個體型態、生理狀況和行為的改變、物種在空間分布上的變化。對生態系的影響則包含了能量流轉、物質循環、土地利用、土地覆蓋等的變化。除了這些直接的衝擊外，氣候變遷也會藉由個體層級的改變，間接造成生物族群量的增加或減少，以及整個族群結構的改變。而在不同族群間的這些變化，會與生態系所造成的影響相互作用，共同影響到群聚結構，並造成物種與物種間相互關係的崩解與重新組合。最後，這些在生態系的改變，也會反向回饋影響大氣的組成與氣候的狀況。

生態系提供許多的產品與服務，例如提供食物、纖維、燃料、清潔的水與空氣等產品；提供水土保持、防洪、維持生物多樣性、休閒娛樂等服務⁽¹⁾。這些產品與服務皆為人類生存發展所必須，也難以用其他方法或系統取代，因此雖然生態系服務對於人類社會的貢獻難以量化，但卻是永續發展中不可或缺的一環。在面對氣候變遷的衝擊下，生態系功能的喪失、產品與服務的減少，都將直接衝擊人類的永續發展。而且也與其他社會經濟面向，有緊密的關連性。

台灣雖然面積小，但是因為地形變化複雜，島上高山林立，使其生態系多樣性極為複雜，動、植物種類繁多，在陸域、水域和海域，均有許多之特有種生物存在。氣候上包含有熱、暖、溫、寒，有些研究者認為台灣所擁有的生態環境是北半球生態系的縮影，在世界各國中，非常特殊。從生態學的觀點而言，在整個地球上，台灣是一個很值得保育的區域。然而，台灣的地狹人稠，加上過去較著重經濟層面的建設，導致許多區域已遭受嚴重的破壞。島嶼生態系在本質上就比較脆弱，容易受到外來的因子而有擾動，在國土維護或復育上，常較大陸型的相似區域要困難許多。而且許多的生態環境、生物多樣性與自然資源，一旦遭受破壞，就很難復原。因此，如何認識氣候變遷對於台灣的生態衝擊，進而能就此衝

擊，研擬適當的減輕衝擊調適策略，對台灣的發展非常重要。

有關氣候變遷對於生態之衝擊，在國際間相關的研究很多，在台灣，這方面的成果卻非常有限。本文的目的在於彙整國內外過去的相關研究資料與報告，從陸域生態的角度，針對台灣生態之特色，探討氣候變遷對於台灣的生態衝擊與不確定性，並參考國際間的作法，分析國內減輕衝擊之對策與調適策略，歸納整理台灣尚欠缺的研究與資料，建議未來科學研究可以推動之項目與方向。

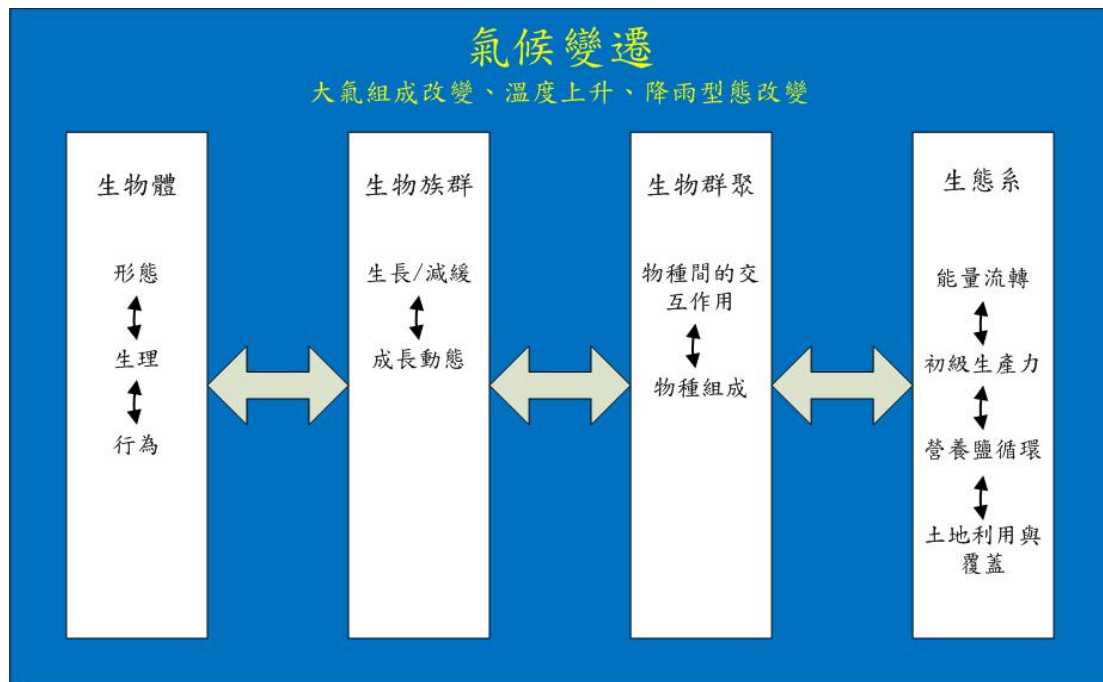


圖 1 氣候變遷對生態系統各層級可能造成之衝擊的相互關係⁽²⁾

二、已發現到的生態變化

氣候變遷所造成的影響與衝擊，已在許多研究中顯現，Root et al.⁽³⁾整理 143 篇有關全球暖化與物種關係的研究，發現超過 80% 的物種，包含軟體動物到哺乳動物、禾草到樹木，皆有觀察到。

許多研究發現，科學界對於陸域生態系的相關研究較多，觀察到的現象與瞭解的程度較高。其中以溫度上升因子所造成的衝擊，被探討的最多。此外，探討海平面上升的影響，研究也相當豐富^(1,4)。



分析氣候變遷在生態系統所造成的影響，在個體方面，最主要的是在物候、行為、生理、型態上的改變，尤其是生殖季或生長季時間的延長、遷移性物種遷徙時間的改變，以及生理狀況的變化。在族群的層級上，被探討最多的便是物種分布範圍向兩極與高海拔地區改變的情形，以及族群結構的改變。在生物群聚的層級上，物種組成的改變是最常被觀察到的變化，此外也包含生物多樣性的減少和物種之間關係的改變。最後在探討生態系方面，主要在於生態系的生產力、能量流轉和物質循環的變化上，不過資料較少。

（一）陸域生態系

研究顯示，在物種的層面上，生物可能因氣候變遷而消失或改變其分布，在族群數量上有明顯的改變。這種改變將直接地造成生物群聚內物種組成的改變⁽¹⁾，或者造成生態系中成員間相互關係的調整，進而造成生態系統的功能與類型上的變化^(5,6)，甚至造成整個生態系的瓦解^(7,8,9)。對於稀有性生物的影響更為顯著，因為其生理適應範圍較為狹小，一旦環境因為氣候變遷而有所變動，勢必影響有限棲地之品質，進而影響整體族群的存活^(10,11)。

生物分布的改變，整體的趨勢為向兩極和高海拔地區移動，也會促使許多區域外來種的突然增加，造成物種間相互關係的改變，生態系內的食物網結構也因而調整⁽¹²⁾。此外，氣候變遷也將造成地景的變遷，影響地景單元在組成與空間分布上產生改變，造成物種種類和組成之改變。由生產者之角度而言，樹種分布會因為氣候變遷而改變，森林植群與林相也會面臨變化。

1.物候的改變

溫度上升最主要造成的衝擊，是物種密度的改變、分布範圍向兩極與高海拔區域移動、物候的改變、體型大小的改變、遺傳物質頻度的改變。有 694 種物種在過去的 50 年內，其物候方面有提早的現象，平均每 10 年提早 5.1 天⁽³⁾。

在植群方面，溫度的上升常伴隨著生殖季的延長^(13,14,15)、開花期的提前⁽¹⁶⁾等現象。英國的研究發現，溫度升高 1°C，將導致許多種類的樹木，提早 5 到 7 天發葉芽⁽¹⁷⁾。分析北半球植群物候與地表溫度的關係，也發現全球植群的變化，植物覆蓋的區域大約在 3 月開始向北方移動，而休眠現象從 9 月開始向南方移動。在自然環境下的植群，生殖季的長

短與地表溫度呈現顯著的相關性，而在都市環境下，則發芽的時間比自然環境下早 4 天，休眠的開始時間則晚 6 天⁽¹⁸⁾。

在動物方面也類似，在冬季溫度較高的池塘中，沫蟬的孵化時間會提早⁽¹⁹⁾。於英國 1978 到 1994 年的研究也顯示，兩種青蛙的產卵時間提早 2 到 3 週，與這段期間氣溫的上升有顯著的相關性⁽²⁰⁾。在美國佛羅里達州大西洋海岸海龜的研究顯示，在 1989 到 2003 年間，上岸產卵的時間提早 10 天，與當地海水溫度平均上升 0.8°C 相關。同樣的，一些在歐洲、北美洲、拉丁美洲的鳥類，其生殖季也有提早的情形^(16, 21, 22)。這種生殖季時間的改變，可能會對其生殖成功率造成影響，也可能會影響到整個生態系中的其他物種⁽¹⁾。

除了生殖、繁殖時間的改變之外，有遷移行為的物種，其遷移的時間也同樣被影響。候鳥遷移的時間，被觀察到有在春天提前飛返，秋天延後到達的情形^(16, 21, 22)。在大陸的尺度（continental scale）上，也已發現候鳥的到達時間有提早的情形，這現象與區域溫度的上升有顯著的相關性⁽²³⁾。

2. 分布的改變

北半球高緯度地區的研究，已發現森林線有向極區移動的情形^(24, 25, 26)。此外，高山草原的分布也有往高海拔地區移動的現象⁽²⁷⁾。

動物方面的研究也發現類似的情形，在歐洲與北美，溫度上升情形下，蝴蝶的分布範圍有向兩極和高海拔移動的情形^(28, 29, 30)。鳥類的分布範圍在南極、北美、歐洲、澳洲⁽³¹⁾，也都已發現有向兩極移動的情形。

物種分布的改變，是一種自發性的調適，可以減輕氣候變遷對物種生存的衝擊，但在某些受限的狀況之下，或是氣候改變的程度過大、速度過快時，這種自發性的調適將無法補償氣候變遷帶來的負面影響，最終將造成族群的滅絕。例如高山生態系的物種分布已被觀察到有向高海拔移動的情形，但某些原侷限生存於高山的物種，因為更高海拔環境的侷限，也有滅絕的情形發生⁽²⁷⁾。在哥斯大黎加的一處保留區內，Golden Toad (*Bufo periglenes*) 和 Harlequin Frog (*Atelopus varius*) 的消失，被認為是極度乾旱氣候所造成⁽³²⁾。

3. 群聚組成的改變

在生物物種的物候、族群與分布因氣候變遷而改變時，由於各物種



對氣候變遷的反應程度有差異，因此會造成群聚組成的改變，並進一步影響群聚內物種間的相互關係。古生物學的研究，已證實因氣候的改變造成現今存在的動植物群聚，與過去的群聚組成不同⁽³³⁾。

美國保護區的研究中，發現到在 9 到 30 年的區間中，植物群聚的組成發生改變^(34, 35)。在物種間關係的改變上，氣溫上升與降雨量的改變，造成了寄主植物與昆蟲間關係的改變⁽¹⁹⁾。

群聚組成的改變與物種間交互關係複雜且相互影響。例如灰狼 (*Canis lupus*) 在冬季的狼群數量與積雪的深度呈現正相關，而較大的狼群，會造成較多的麋鹿被捕食，而麋鹿數量的下降，則造成地被植物 Balsam Fir (*Abies balsamea*) 生長較佳⁽³⁶⁾。因此由氣候變遷造成的積雪量改變，直接影響到灰狼的族群量，再間接因灰狼與麋鹿、麋鹿與植物間的關係，而影響到整個群聚的組成。

(二) 國內的研究現況

相較於國外的研究，台灣在缺少較長期的研究、統整性的資料整合、充足的經費支持，以及過去較不受重視的情形下，有關全球變遷對生態系統造成衝擊的相關研究，除了在有關珊瑚白化、沿岸濕地的問題上探討較多外，其餘的資料與研究均很缺乏。

在陸域生態系方面，根據楊平世教授的調查，發現屬於菲律賓與東南亞的熱帶蝴蝶，在台灣出現的紀錄有增加的趨勢；這些熱帶蝶種在台灣定居的案例也有增加的情形；台灣本土的蝶類分布，有向北部擴散的現象⁽³⁷⁾。

在沿岸生態系方面，根據中華民國野鳥學會的調查，台灣沿岸濕地的面積大約為一萬一千九百公頃。這些濕地的範圍，多半分布在東北部和西部河川的出海口，以紅樹林為主要的生態系。目前濕地的劃定範圍並沒有包括海埔新生地、潟湖等範圍。若將其一併納入，則台灣沿岸濕地的面積，將可達到六萬五千公頃⁽³⁸⁾。這些棲地環境蘊育大量的水生、陸生生物物種，是候鳥遷徙時的重要中繼站。在氣候變遷下，將直接受到非常明顯的衝擊⁽³⁹⁾。

根據 1997 與 1998 年由珊瑚礁保育群體計畫與全國珊瑚礁總體檢調查，除了墾丁海域之外，蘭嶼、綠島和澎湖海域先後發生珊瑚白化的現象，預估 20 年內，全台灣珊瑚礁的毀損面積將達到 50%，沿岸地區的河口灘

地、紅樹林及沙岸底棲生物同時也已快速減少⁽⁴⁰⁾。雖然造成珊瑚礁白化的主要原因甚多，但自 1979 年以來，全球已發生 6 次廣泛性白化現象，與全球海水溫度具有相關性，若未來全球暖化現象持續嚴重，珊瑚礁白化的發生頻率和嚴重性都將隨之增加⁽⁴⁰⁾。

三、未來可能的生態衝擊

討論氣候變遷對農業部門活動及未來糧食供應的衝擊，除需考量 CO₂ 濃度和氣溫升高，以及極端天氣變異度增加所產生的直接效應外，農田土壤品質的好壞和灌溉水資源的豐枯也可決定作物產量的高低，而國際間農產品的供需情形與價格波動，也將直接影響國人糧食供應的穩定性。因此分別由台灣地區氣候的變化趨勢，對穀物和肉類生產的潛在影響，以及耕地面積、農田地力、灌溉水資源、和國際農產品貿易等方面，探討氣候變遷對台灣地區農業部門活動及未來糧食供應的可能衝擊。

（一）預測模式

對於未來衝擊的預測模式類型，其中一種為 Climate or Environment Envelope Models，這種模式最早在 1980 年代開始被使用，利用現在生態系與環境因子間相關性，套用於不同預測情境後的結果，預測可能產生的變化。這種模式可以看出未來變化的趨勢，也能顯示出還需要深入研究的部分⁽¹⁾。Kleidon and Mooney⁽⁴³⁾發展了一個 process-based model，模擬隨機選取的物種對於氣候過程的反應。此模式可以模擬在現在的氣候條件下，生物多樣性的分布情形。

在預測物種分布的模式建立方法方面，最常被使用的方法是 GLM (Generalized Linear Models)，此種方法可以正確地預測現今的分布狀況⁽⁴⁴⁾，但卻無法處理複雜的分布曲線⁽⁴⁵⁾，因此 GAM (Generalized Additive Models) 便開始被使用⁽⁴⁶⁾。雖然 CART (Classification and Regression Tree Analysis) 相對前面兩種方法，較不常被使用，但卻在呈現物種間的階層關係上很有用^(47, 48)。而 ANN (Artificial Neural Networks) 雖然被使用的比例近來有增加的趨勢，但相對來說，較難說明因果關係⁽⁴⁹⁾。近年來，以人工智慧為基礎的 GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction) 和統計物理界的 MaxEnt (Maximum Entropy) 的使用，更廣為流傳。



Thuiller⁽⁴⁹⁾提出另一種評估模式的方法(BIOMOD)，針對每一物種，分別用此多種方法去建立模式，再比較各模式的預測結果。結果發現各種方法的優劣，取決於物種的不同，而模式預測結果些微的差異，將造成對未來氣候變遷預測時嚴重的影響。因此作者建議在進行相關研究時，不應該單使用一種方式建立模式，而該使用綜合多種方式的分析架構。

(二) 陸域生態系

在陸域生態系方面，探討最多的是物種的滅絕問題。在氣候變遷的衝擊超過生態系統自發性的調適，以及計畫性調適所能負荷的範圍，物種的滅絕將會發生，生物多樣性因而下降。而現今多數的相關預測模式，皆顯示物種滅絕在未來發生的可能性很高。

在生物多樣性方面，不論在何種層級之下，預測的結果皆是下降的情形，其原因是由於棲地的喪失與破碎化、外來種的引入、氣候變遷直接對於生殖、存活造成影響⁽¹⁾。利用物種與棲地面積的關係，以及模式模擬的結果，在中等溫度上升的情境預測之下，到 2050 年，將有 15-37% 的物種與分類群會滅絕⁽⁵⁾。不同的地理區域及不同的分類群，滅絕的比率有差異。Sala et al.⁽⁵⁰⁾利用專家評估方式，以及一個定性的模式，預估 2100 年生物多樣性的狀況。發現地中海型氣候與草原生態系，最有可能發生最嚴重的生物多樣性的改變。而北半球溫帶地區的生態系，則因為大部分土地利用的改變已經發生，反而生物多樣性在未來的變化會較小。

物種的滅絕問題還會因為其他的因素，例如棲地的消失與破壞、環境的污染、土地利用改變等，使其嚴重性增加。其中對於棲地環境的要求較受限制的物種，包含許多特有種其滅絕的危機將更大，例如孟加拉虎 (*Panthera tigris tigris*) 預期在氣候變遷的影響下，現存的棲地將消失，而人類的活動將阻礙孟加拉虎向海拔較高地區的遷移⁽⁵¹⁾。高山生態系中許多的物種，對棲地的需求通常較為侷限，在氣候變遷的影響下，若高山的海拔梯度範圍較大，物種還得以往高海拔區域遷移，但若不足，則這些棲地將消失，生存於其內的物種也將消失⁽⁵²⁾。加上較高海拔地區的地形因子與較低海拔環境會有所不同，例如坡度通常在高海拔地區較大，將進一步限制了適合生物分布的範圍，可能造成許多物種地區性的滅絕。

IPCC⁽¹⁾分析，目前許多動物的種類與數量已面臨很高的瀕危程度，由於氣候變遷會惡化其生存條件，土地利用會破壞其棲息環境，使其遷徙難

度增加，這些不利因素共同作用將使其處境更加艱難。若缺乏適當的管理，在 21 世紀這些障礙將會使目前一些「嚴重瀕危」物種滅絕，多數「瀕危和易受威脅」物種更加稀少，並進一步滅絕，而物種減少會影響野生動物對整個生態系的作用（如昆蟲授粉、天敵害蟲防治），影響到人類的娛樂和旅遊（狩獵、野生動物觀賞等），和原住民的文化與宗教活動。

此外，氣候變遷與其他影響因子還會產生相互影響，更增物種滅絕的危機。IPCC⁽¹⁾評估，氣候變遷將加劇亞洲地區的土地利用、土地覆蓋和人口壓力對生物多樣性所造成的威脅，由於氣候變遷與生境破壞的協同作用，許多物種與其他物種中的許多族群正逐漸瀕臨滅絕。

物種分布範圍改變與滅絕，所造成的另一項可能衝擊，是外來種問題的增加。在氣溫上升的情形下，北半球許多物種的分布北界已經向北移動，而分布南界則有物種滅絕的情形發生，這將會增加外來種侵入的機會，因此使得外來種的影響將更加嚴重⁽¹⁾。而外來種又會影響現有的群聚與生態系，造成對氣候變遷的調適能力降低，最終形成一個惡性循環。

（三）台灣的相關研究

關於氣候變遷對於台灣陸域生態的衝擊預測，李培芬和許嘉恩⁽⁵³⁾利用台灣繁殖鳥類與兩生類之分布資料，配合環境因子資料，以邏輯迴歸（logistic regression）建立各物種的分布模式，以描述現今各物種於台灣分布的概況，估計全島物種豐富度，利用 RSM2 預設情境的模擬，分析氣候變遷後，預測各物種和種豐度的變化。

結果顯示氣候暖化的結果，繁殖鳥類多樣性分布熱點完全消失。以 2 × 2 公里的網格來看，物種最多的網格由現今的 60 種，下降為 47 種，平均各網格減少 15 種。而檢視各鳥種的分布，減少的趨勢是往高海拔遷徙，上升海拔超過 2000 公尺，現今中海拔以上的鳥類將大量消失⁽⁵³⁾。至於兩生類多樣性最高的網格由 18 種減少為 16 種，平均每個網格減少 9 種，且種豐度的空間分布向種數較高的地區退縮，部分熱點地區被隔離，造成分布破碎化⁽⁵³⁾。

有關台灣保護區未來可能遭受衝擊的預測方面，分析在 RSM2 預設情境下，對國家公園、自然保留區和野生動物重要棲息環境的基本基礎氣候因子所產生的影響，發現國家公園因為面積較大，所以雨量和溫度改變都在整體平均之中，但小型的保護區則所受到的影響相對較大⁽⁵³⁾。在評估保



護區所受的氣候變遷的衝擊時，也發現與保護區所保護的物種有很大的關係。例如無尾港水鳥保護區，以水鳥候鳥為保護對象，對溫度的增加可能無法直接看出，但海平面上升可能就變得相對重要。而台灣一葉蘭自然保留區面積小，受到高溫和多雨的影響，所保護的生物棲地就有重大的改變。因此這些研究顯示，高山生態系統所受氣候變遷的影響衝擊相當大，大型保護區緩衝較大，所受的衝擊相對較小⁽⁵³⁾。

在淡水生態系方面，李宗祐⁽⁵⁴⁾曾針對櫻花鉤吻鮭唯一棲地—七家灣溪，進行水溫和族群數量的模擬。透過模式分析，七家灣溪流流域的水溫增加與櫻花鉤吻鮭分布棲地縮減的情形，也分析氣候變遷對櫻花鉤吻鮭族群數的影響。楊奕岑⁽⁵⁵⁾則利用模式評估高山溪之櫻花鉤吻鮭族群，在氣候變遷下水溫和鮭魚族群數量的分布變化。研究均顯示在氣候變遷的衝擊下，櫻花鉤吻鮭現存可用的棲地將大幅地向上游方向縮減。

在沿岸生態系部分，李培芬曾利用 GIS 模擬 IS92a 短中長期海平面上升預設情境，發現不管是 IS92a 之短期、中期與長期預設情境，臺灣將以西南沿海、北部淡水河口和東部蘭陽溪口附近的淹沒面積較多⁽³⁹⁾。而重要野鳥棲地也以西南沿海、北部淡水河口和東部蘭陽溪口附近被淹沒程度較為明顯，主要受衝擊濕地包括台北挖子尾、台北關渡、台北雁鴨保護區、彰化大城濕地、嘉義布袋濕地、嘉義鰲鼓濕地、台南北門、台南青鯤身、台南七股、台南四草、宜蘭竹安、宜蘭蘭陽溪口和宜蘭利澤簡，而隨著預設情境的海水上升高度加高，重要野鳥棲地被淹沒的面積更為增加⁽³⁹⁾。

四、生態面向的調適策略與能力

雖然世界各國對於溫室氣體排放與氣候變遷的瞭解與關注日漸增加，國際協議「京都議定書」也於 2005 年 2 月正式生效，但受限於現實環境與技術，以再生性能源全面取代化石燃料，短期內無法實現。因此，除了持續推動溫室氣體排放減量和增加溫室氣體吸收的能力外，訂定適宜的調適策略，以減輕氣候變遷對生態系統造成的衝擊，也是迫切需要進行的工作。

一般所謂的調適（adaptation）可分為兩大部分，一是屬於自發性的調適（autonomous adaptation），另一部份則是計畫性的調適（planned adaptation）。自發性的調適指的是生態、社會、經濟等系統在氣候變遷的刺激下，自發性產生的反應，以減輕氣候的改變所帶來的衝擊⁽¹⁾。在生態系統方面，

這類的自發性調適便是部分我們前述所觀察到的情形。

這些自發性的調適確實可以減輕氣候變遷所帶來的衝擊，但由於在人類不斷快速產生溫室氣體、不斷破壞自然界吸收溫室氣體的能力，氣候變遷的幅度與速度，皆超過了生態系統的負荷程度⁽¹⁾。因此，如果單靠自發反應和自發性調適因應氣候變遷的影響，其生態、社會和經濟代價將是非常巨大的，而這些代價可以利用有計畫和預防性的調適策略來避免。

計畫性的調適是利用有計畫的政策、策略的制訂與施行，增加自然系統的調適能力、減少其脆弱度，使其在不考慮自發性調適的情形下，也能有效減輕氣候變遷所帶來的衝擊⁽¹⁾。然而，調適策略雖然具有減少氣候變遷不利影響、增加有利影響的潛力，但需要耗費成本，且仍無法避免可能造成的損失。如何讓這些調適策略發揮最大的功效，在於是否能擬定適宜的政策與策略。這有賴於對氣候變遷相關研究的成果與瞭解，也取決於資金、技術的提供，更需要因地制宜，面對不同的地區、不同的問題與能力，必須要能制訂適合當地環境與條件的適宜策略。更重要的，一個適宜的調適策略，必須考量自然、社會、經濟等各個面向，與各面向間的交互關係。

綜合前述，一個系統的調適能力（adaptive capacity），取決於一個自然系統所面臨到氣候變遷影響的程度，不單是氣候的平均變化程度，更重要的是變異的程度，以及極端氣候發生的頻率與程度。同時，也取決於自然系統對這些衝擊所能因應的能力，以及藉由計畫性的調適，擬定適宜的調適策略，增加自然系統的調適能力，減緩因應氣候變遷帶來的衝擊。

（一）陸域生態系

在陸域生態系方面，考量各類不同棲地環境所可能受到的衝擊，以及其本身的調適能力，其中面臨風險最高的生態系包括有冰河、寒帶與熱帶森林、極地與高山生態系、大草原濕地、殘餘的天然草原等⁽¹⁾。這些環境有些是因為所面臨的氣候改變較為劇烈，例如冰河環境在溫度升高的情形下，整個棲地的條件、與可利用的棲地範圍，皆會受到劇烈的影響。另有些環境是因為自發性調適受到限制，例如極地與高山生態系，由於原本所分布的物種向更高海拔、更高緯度移動時會受到限制，因而難以藉由此類自發性調適去減輕氣候變遷的衝擊。而這些生態環境的維持與保護，便有賴計畫性調適策略的擬定與實行。



陸域生態系的調適策略，可由野生動物保育的角度，或由棲地環境、土地利用的角度，以及生態系功能取代的角度來探討。

1. 野生動物保育角度

全球或區域內氣候變遷已經對野生動植物的分布、數量、密度和行為產生直接影響，同時也由於氣候變遷對植被的影響而產生間接衝擊，其中最嚴重的便是物種因這些衝擊而產生族群量下降，甚至滅絕的情形。為降低物種滅絕的風險，可以採行的調適策略包括（1）建立庇護場所、公園和保護區；（2）建立物種遷移廊道，使物種得以因應氣候變遷而遷移；（3）利用捕捉、人工餵養，將物種移入適宜的生存區域等。

因應野生動物族群量下降，一個最典型、最基本的調適策略，便是設立保護區、保留區、國家公園等庇護場所。保護區的建立，除了直接減少人為活動對野生動物的干擾、減少這些干擾所造成對氣候變遷的敏感度，也可間接保留這些動物賴以生存的棲地環境。但由於氣候的改變，現在受到保護的環境，在未來可能無法提供這些物種的生存。因此，保護區的設立應該考量生物物種未來可能的分布範圍。而對物種分布變動的趨勢預測，則有賴有效且可靠的預測模式。此外，針對快速的氣候變遷趨勢，更立即有效的方法應是發展適當的經營管理策略，發展生物指標（bioindicator）以監測氣候變遷對保護區的衝擊，做到在改變之前便能事先擬定並執行應變的措施，調整保護區經營管理的方式⁽¹⁾。

廊道（corridor）是具有通道或屏障功能的線狀或帶狀嵌塊體，在空間上之分布可為連續或間斷存在，可以提供對生物物種的保護作用，也可以提供其重要資源。廊道可作為某些物種的棲息地、物種遷徙的通道、形成地區之間的屏障或過濾器⁽⁵⁶⁾。因此，廊道的建立是保護區規劃與管理上極為重要的一個項目，同時也成為因應氣候變遷之調適策略中的重點之一，尤其在作為物種自發性調適中，分布區域的移動上，是最重要的關鍵。

針對瀕危物種的另一種調適策略是藉由捕捉飼養，再移入適宜的棲地。根據評估，這種方式若配合棲地的復育，在輕度到中等程度的氣候變遷情境下，對於某些物種可能具有效果⁽⁵⁷⁾，但在劇烈的氣候變遷情形下，一物種的適宜分布棲地可能完全消失⁽⁵⁸⁾，這將導致此種調適策略無

法發揮功能。此外，此調適策略受限於有用的空間、技術，以及足夠的經費來源。若未來引入的區域並非此物種的原生分布區域，則還必須考量引入後對當地生態系和其他物種的影響⁽¹⁾。

2. 棲地環境與土地利用角度

保護棲地環境除了可以提供野生動物生存、維持生物多樣性之外，其本身也在整個生態系統中占有重要的角色。例如森林在氣候變遷調適中最重要的另一項功能，便是作為碳的吸收與儲存場所。要增加生態系中碳儲存量的方法，應該對於土地利用與經營管理制訂良好完善的管理策略。

在土地利用的調適策略上，最重要的是保存自然的土地覆蓋型態，避免因土地利用的改變，增加生態系統遭受氣候變遷衝擊的危險性。而避免土地的品質下降，比之後復育所花費的成本要低得多⁽⁵⁹⁾，因此保護區域的劃設、人為開發的限制、環境品質的監測等，皆是重要的策略項目。

在森林的經營管理方面，一般採行的調適策略包括砍伐已死的或將死的樹木、種植更適應當地氣候的新品種、種植基因轉殖品種、加強或減少對森林的管理等⁽¹⁾。由於年老森林的生產力較中等年齡的森林要低，能吸收與儲存的碳也較少，而死亡的樹木除了喪失吸收碳元素的能力之外，在被分解之後，會將其所儲存的碳再釋放出來，因此將已死亡或年老的樹木砍伐利用，將有助於森林年齡的更新，提供較佳的碳吸存能力。而利用人為品種的培養與移入，可以維持或增加森林所覆蓋的面積，但必須留意這些品種對原生物種或是原基因庫的可能影響。

至於在木材市場的供應方面，氣候變遷可能增加木材的供應，在區域和全球的尺度上，調適策略的範圍，主要取決於木製產品與非木製產品的價格、替代品的相對價格、管理成本和技術⁽¹⁾。可藉由通過土地和產品的管理，反映在價格調節調適策略上。

3. 生態系統產品與服務的取代

除了上述針對物種保育，以及土地利用、棲地環境保護的調適策略之外，也可從另一種角度來進行調適的工作，即是藉由人為的方法，取代自然生態系所提供的產品與服務。雖然現在已有方法可以替代部分生態系的功能，例如傳粉、種子傳播、害蟲防治等，但這些調適策略所需的成本相當驚人，且有些產品與服務是難以用人工方法取代的，例如營



養鹽的循環、生態系的穩定等⁽¹⁾。

（二）台灣的調適現況和對未來的建議

根據 IPCC⁽¹⁾的分析，亞洲國家對於氣候變遷的調適能力取決於採取調適策略的能力、可獲得的技術、以及生物物理限制因素，例如土地、水資源、土壤特性、作物育種的遺傳多樣性、地形。對於台灣來說，相較於亞洲其他國家，在技術、經濟能力上相對較佳，但在生物物理方面，卻有著許多需特別留意的特性。

台灣是一個海島國家，由於四面環海，受到海洋的衝擊相當大，又加上腹地有限，對於氣候變遷的調適能力較差，因此在沿岸地區計畫性調適上需投入更多的關注與努力。尤其是氣候變遷中的海平面上升的問題，對於海島國家來說，更是最需關注的焦點。

除了面臨海洋帶來的衝擊之外，台灣地勢陡峭，海拔高度範圍大，包含了許多高山生態系。高山生態系同樣面臨了腹地小，範圍受限等因素的限制，造成調適能力的不足。而分布於高山生態系的一些特有物種，在氣候變遷的影響下，會遭受的嚴重的滅絕危機。

以下便針對台灣的狀況，提出未來可行的調適策略制訂方向：

1. 整體性的調適策略

（1）在氣候變遷的研究與工作中納入生態系統的考量

由於自然生態系統在氣候變遷中確實將受到衝擊，而又與社會與經濟等面向關係密切，在過去的研究與因應氣候變遷的考量中，關於生態系統的部分相對較少。而對當前保育政策的細微改變和計劃及管理的前瞻性，可以在氣候變遷對生物多樣性衝擊上，提供大量有效和策略性的利益。氣候變遷已被確認為是威脅廣大區域內大量物種生存的現象。然而，評估氣候變遷對物種的衝擊，向來並不是評估他們的弱點系統分析中的一部份。當估計現在及將來的威脅和衝擊範圍時，提出這一個議題將有助於評估在氣候變遷下，經營生物多樣性所必需的投資的尺度。

（2）具有彈性的保護區經營管理

依據氣候變遷對生物多樣性可能的影響，選擇適當的地區，劃設為保護區。這些地區應該以在長期的氣候變遷過程中，能提供生物所需的環境梯度、棲地複雜度為主要考量，並應該能適時加以調整。而保護區



周圍緩衝區之經營管理規劃方案若具有高度彈性，則在未來氣候變遷及土地利用型態之下，其經營管理方式能有充分靈活的選擇與調整之機會，使保育效能得以充分發揮。此外，在保護區之間空間位置做較緊密的排列，或在保護區或生物多樣性熱點之間建立生態廊道，可以使物種在氣候變遷形式之下仍可以進行可能的遷移。這在維護族群的基因多樣性及永續繁衍上非常重要⁽⁵³⁾。

(3) 長期的監測與預警系統

除了持續增進對生態系統在氣候變遷衝擊下改變的瞭解、長期監測並累積相關資訊之外，也必須以此資料與知識，針對生態系統中各層級的反應，建立可作為指標的項目，以期能在衝擊造成嚴重影響之前，先提出警示，再因應此可能的衝擊，施行有效的調適策略。同時，為配合監測與預警，建立有效的評估方法，以確保預警系統和因應的調適策略之可行性與有效性，也是必要的工作之一。

(4) 建立恢復機制

除了嘗試在事前減輕氣候變遷的衝擊之外，另一個作法是建立一套當衝擊發生之後，能迅速回復的恢復機制，以期能在最短的時間，損失最少的情況下，在氣候變遷的衝擊下，由災害中回復正常。

(5) 以人工方法取代生態系的產品與服務

部分生態功能因快速的氣候變遷下消滅，如傳粉的昆蟲外移，植物生殖的媒介因此中斷。可以利用人工授粉或人工播種的方式，來替代部分的生態功能。但有些產品與服務例如營養鹽的循環、維持生態系的穩定等，是難以用人工方法取代的。未來除致力於降低人工取代方式所需的成本之外，也需針對現在仍難以克服的部分加以研究。

2. 陸域與淡水生態的調適策略

(1) 避免土地利用的改變

台灣土地利用的改變趨勢，由比較 1970 年代與 1990 年代北部台北縣、桃園縣、宜蘭縣的土地利用狀況來看，森林大量改變為農牧地與建築用地。此外，將近 80 平方公里的河川地也轉變為農牧地與建築地⁽⁶⁰⁾。皆顯示人為開發已嚴重影響了自然生態環境。土地利用大範圍的改變，已經證實會使氣候變遷的衝擊更加惡化^(2,5)。為維持或增進自然生態系



統對氣候變遷的調適能力，首要便是避免土地的開發與利用，維持原有的土地覆蓋型態。

（2）界定並增進對生態敏感區的瞭解

例如高山環境，對於氣候變遷的調適能力較低，但也由於環境的限制，我們對於其生態系統的瞭解也較少，因此難以預估可能產生的衝擊，也難以擬定適宜的調適策略與方法。對於這類的敏感區域，或是生物多樣性豐富、生態功能較重要的地區，因儘速界定並投入較多的努力於相關的研究與保護工作。

3. 沿岸環境的調適策略

（1）減少沿岸地區的開發

台灣近 40 年來，由於許多沿岸地區都已被開發為海埔地、工業區、港口，海堤及消波塊大量的設置，到 1997 年為止，海堤的長度已占台灣海岸線的 50% 以上⁽⁶⁰⁾。這樣的開發利用，以及大量硬體性保護措施的構築，必定已經大量降低了台灣沿岸環境對氣候變遷的調適能力。又加上台灣西南沿海長期抽取地下水，以進行水產養殖之用，不只造成沿岸地層下陷，也常因海水倒灌，滲入沿海低窪地區造成鹽化現象。這對於許多生長在河口或河灘地的植物，即使是紅樹林或耐鹽性高的海濱植物，也無法適應這種高鹽度的環境⁽⁶¹⁾。因此，限制沿岸地區的開發應是首要目標。

（2）海灘的養護

如前所述，硬體性的保護設施並無法真正解決沿岸環境所面對的問題，而必須採取軟性的保護方法。軟性保護是針對海岸侵蝕的本質來源（沈積物減少）著手，一般方式包含人工增加沈積物（育灘）、沈積物管理之改進、增加海岸或濕地面積。育灘在開發區域是一較常見的調適方案，但是長期育灘的結果仍充滿未知，在不完全瞭解育灘和海平面上升衝擊海岸之間的關係下，育灘需要良好的監控以確定其時間性和有效性。此外，沈積物管理需要對於區域沈積物的流動以及人類干擾有通盤瞭解，未來對於此主題應進行深入之研究。

五、結論與建議

工業革命以來，因為人類的活動造成的氣候變遷，已在許多氣候與環境因子上產生影響，且有逐漸加速與漸趨嚴重的趨勢。依據模式分析預測的結果，情況將持續惡化，甚至會產生目前尚未顯現的衝擊。

雖然面臨氣候變遷，自然生態系統會有自發性調適去減輕其造成的衝擊，但由於現今氣候變遷的幅度與速度，皆超過了生態系統自發性調適所能負荷的程度。唯有依賴有計畫和預防性的調適策略來加以避免。有效的調適策略必須因地制宜，適合當地的特性與需求，也必須考量自然、社會、經濟等各個面向，以及各面向間的交互關係。並針對脆弱度較高的生態系、區域投入較多的關注，以期資源的有效利用。

在研究方面可以從以下方向（表 1）進行：

表 1 對未來研究方向的建議

主辦單位	研究議題	重點說明
國科會、農委會(林務局)、內政部(國家公園)、環保署	長期監測與資料的收集	1. 兼顧生態系統各層面及相互關係 2. 跨領域並探討不同面向的關係 3. 採用標準的資料收集方式 4. 著重物種間關係與生態系功能 5. 著重人類活動對生態系統的影響 6. 配合整合性資料庫的建立 7. 促進資料的流通
國科會、農委會(林務局)、內政部(國家公園)、環保署	預測模式的建立與評估	1. 考量物種間的關係 2. 考量物種的遷移能力 3. 考量人類活動的影響 4. 動態模式的建立 5. 跨領域統整性模式的建立 6. 發展模式評估方法
國科會、農委會(林務局)、內政部(國家公園)、環保署	預警系統的建立	1. 發展氣候變遷的生物性指標 2. 配合監測系統 3. 應用預測模式 4. 發展因應措施與策略
國科會、農委會(林務局)、內政部(國家公園)、環保署	調適策略的擬定	1. 納入生態系統進行整合性的考量 2. 擬定具彈性的經營管理策略 3. 配合監測與預警系統 4. 建立恢復機制 5. 減少環境破壞與提升調適能力並進 6. 界定敏感區域、脆弱區域 7. 脆弱度的定量評估 8. 調適策略優先順序的訂定



台灣地處海島，有多樣的棲地環境，易受到氣候變遷所帶來多樣的威脅與衝擊，而腹地狹小、資源缺乏，又降低了調適的能力；在後天上，也因為過去對生態研究的忽視，以致基礎資料的欠缺及統整系統的不健全。這些先天與後天的不利因素，都造成台灣生態系統於面對氣候變遷時的高度脆弱性。因此，為確保台灣生態系統在氣候變遷下得以維持正常的永續發展，上述建議一方面可奠定研究的基礎，一方面針對目前欠缺又關鍵的部分，加以補強。這些研究計畫的落實，唯有在政府全力支持，各部門工作的推展相互配合，各領域的互相交流與合作，才能得以順利進行。

謝詞

本研究承蒙國科會永續會經費補助，特此致謝。

參考文獻

- 1.IPCC, "Climate Change 2001: Impacts, Adaptations and Vulnerability." Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, New York. 2001.
- 2.Weltzin, J. F., M. E. Loik, S. Schwinning, D. C. Williams, P. A. Fay, B. M. Haddad, J. Harte, T. E. Huxman, A. K. Knapp, G. Lin, W. T. Pockman, M. R. Shaw, E. E. Small, M. D. Smith, S. D. Smith, D. T. Tissue, and J. C. Zak., "Assessing the response of terrestrial ecosystems to potential changes in precipitation." , Bioscience, Vol.53, 941-952, 2003.
- 3.Root, T.L., J.T. Price, K. R. Hall, S.H. Schneider, C. Rosenzweig, and J.A. Pounds, "Fingerprints of global warming on wild animals and plants" , Nature, Vol.421, 57-60, 2003.
- 4.IPCC, "Climate Change 2001: The Scientific Basis." Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change" , Cambridge University Press, New York. 2001.
- 5.Thomas, C.D., A. Cameron, R.E. Green, M. Bakkenes, L.J. Beaumont, Y.C. Collingham, B.F.N. Erasmus, M.F. de Siqueira, A.Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A.S. van Jaarsveld, G.F. Midgley, L. Miles, M.A. Ortega-Huerta, A.T. Peterson, O.L. Phillips, and S.E. Williams, "Extinction risk from climate change" , Nature, Vol.427, 145-148, 2004.
- 6.Thuiller, W., "Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate



- change” , *Global Change Biology*, Vol.10, 2020-2027, 2004.
- 7.Bakkenes, M., J.R.M. Alkemade, F. Ihle, R. Leemans, and J.B. Latour. “Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050” , *Global Change Biology*, Vol.8, 390-407, 2002.
- 8.Erasmus, B.F.N., A.S. Van Jaarsveld, S.L. Chown, M. Kshatriya, and K.J. Wessels, “Vulnerability of South African animal taxa to climate change” , *Global Change Biology*, Vol.8, 679-693, 2002.
- 9.Peterson, A.T., M.A. Ortega-Huerta, J. Bartley, V. Sánchez-Cordero, J. Soberón, R.H. Buddemeier, and D.R.B. Stockwell, “Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios” , *Nature*, Vol.416, 626-629, 2002.
- 10.Pasinelli, G., B. Naef-Daenzer, H. Schmid, V. Keller, O. Holzgang, R. Graf, and N. Zbinden, “An avifaunal zonation of Switzerland and its relation to environmental conditions” , *Global Ecology and Biogeography*, Vol.10, 261-274, 2001.
- 11.Carey, C., and M.A. Alexander, “Climate change and amphibian declines: is there a link?” , *Diversity and Distributions*, Vol.9, 111-121, 2003.
- 12.Blackburn, T.M., K.J. Gaston, R.M. Quinn, and R.D. Gregory, “Do local abundances of British birds change with proximity to range edge?” , *Journal of Biogeography*, Vol.26, 493-505, 1999.
- 13.Myneni, R.B., C.D. Keeling, C.J. Tucker, G. Asrar, and R.R. Nemani, “Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 – 1991.” , *Nature*, Vol.386, 698 – 702, 1997.
- 14.Carter, T., “Changes in the thermal growing season in Nordic countries during the past century and prospects for the future.” , *Agricultural and Food Science in Finland*, Vol.7, 161 – 179, 1998.
- 15.Menzel, A. and P. Fabian, “Growing season extended in Europe.” , *Nature*, Vol.397, 659, 1999.
- 16.Bradley, N.L., A.C. Leopold, J. Ross, and W. Huffaker, “Phenological changes reflect climate change in Wisconsin.” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol.96, 9701 – 9704, 1999.
- 17.Sparks, T.H., “Phenology and the changing pattern of bird migration in Britain” *International Journal of Biometeorology*, Vol.42, 134 – 138, 1999.
- 18.Zhang, X., M.A. Friedl, C.B. Schaaf, and A.H. Strahler, “Climate controls on vegetation phenological patterns in northern mid- and high latitudes inferred from MODIS data.” , *Global Change Biology*, Vol.10, 1133-1145, 2004.
- 19.Masters, G.J., V.K. Brown, I.P. Clarke, and J.B. Whittaker, “Direct and indirect effects of climate change on insect herbivores: Auchenorrhyncha (Homoptera).” , *Ecological Entomology*, Vol.23, 45 – 52, 1998.



- 20.Beebee, T.J.C., “Amphibian breeding and climate.” , Nature, Vol.374, 219 – 220, 1995.
- 21.Ball, T., “The migration of geese as an indicator of climate change in the southern Hudson Bay region between 1715 and 1851.” , Climatic Change, Vol.5, 85 – 93, 1983.
- 22.Bezzel, E. and W. Jetz, “Delay of the autumn migratory period in the Blackcap (*Sylvia atricapilla*) 1966 – 1993: a reaction to global warming?” , Journal Für Ornithologie, Vol.136, 83 – 87, 1995.
- 23.Sparks, T. H., F. Bairlein, J.G. Bojarinova, O. Hüppop, E.A. Lehikoinen, K. Rainio, L.V. Sokolov, and D. Walker, “Examining the total arrival distribution of migratory birds.” , Global Change Biology, Vol.11, 22-30, 2005.
- 24.Hamburg, S . P. and C.V. Cogbill, “Historical decline of red spruce population and climatic warming.” , Nature, Vol.331, 428 – 431, 1988.
- 25.Lescop-Sinclair, K. and S. Payette, “Recent advance of the arctic treeline along the eastern coast of Hudson Bay” , Journal of Ecology, Vol.83, 929 – 936, 1995.
- 26.Briffa, K.R., F.H. Schweingruber, P.D. Jones, T.J. Osborn, S.G. Shiyatov, and E.A. Vaganov, “Reduced sensitivity of recent tree-growth to temperature at high northern latitudes.” , Nature, Vol.391, 678 – 682, 1998.
- 27.Grabherr, G., M. Gottfried, and H. Pauli, “Climate effects on mountain plants.” , Nature, Vol.369, 448, 1994.
- 28.Pollard, E., “Population ecology and change in range of the white admiral butterfly *Ladoga camilla* L. in England” , Ecological Entomology, Vol.4, 61 – 74, 1979.
- 29.Parmesan, C., “Climate and species’ range” , Nature, Vol.382, 765 – 766, 1996.
- 30.Parmesan, C., T.L. Root, and M.R. Willig, “Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota.” , Bulletin of the American Meteorological Society, Vol.81, 443 – 450, 2000.
- 31.Emslie, S.D., W. Fraser, R.C. Smith, and W. Walker, “Abandoned penguin colonies and environmental change in the Palmer Station area, Anvers Island, Anatarctic Peninsula” , Antarctic Science, Vol.10, 257 – 268, 1998.
- 32.Pounds, J.A. and M.L. Crump, “Harlequin frogs along a tropical montane stream: aggregation and the risk of predation by frog-eating flies.” , Biotropica, Vol.19, 306 – 309, 1987.
- 33.Graham, R.W. and E.C. Grimm, “Effects of global climate change on the patterns of terrestrial biological communities” , Trends in Ecology and Evolution, Vol.5, 289 – 292, 1990.

34. Chapin, F.S. III, G.R. Shaver, A.E. Giblin, K.G. Nadelhoffer, and J.A. Laundre, "Responses of Arctic tundra to experimental and observed changes in climate", *Ecology*, Vol.76, 694 – 711, 1995.
35. Alward, R.D., J.K. Detling, and D.G. Milchunas, "Grassland vegetation changes and nocturnal global warming.", *Science*, Vol.283, 229 – 231, 1999.
36. Post, E., R.O. Peterson, N.C. Stenseth, and B.E. McLaren, "Ecosystem consequences of wolf behavioral response to climate", *Nature*, Vol.401, 905 – 907, 1999.
37. 李玲玲, 「台灣環境變遷與全球氣候變遷衝擊之評估 - 陸域生態變遷」, 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告, 22 頁, 1999。
38. 邱文彥, 「台灣濕地保護的觀念及其隱憂」, 台灣濕地, 第 10 期, 1999。
39. 童慶斌、吳明進、李國添、戴昌鳳、陳瑤湖、李培芬、呂學榮、邱祈榮、李明旭, 「氣候變化綱要公約國家通訊衝擊調適資料建制 — 氣候、水文、生態部分 (二)」, 行政院環境保護署委託研究報告, 490 頁, 2004。
40. 邵廣昭、李國添、方力行, 「臺灣環境變遷與全球氣候變遷之衝擊評析 - 海域生態及漁業」, 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告, 36 頁, 1999。
41. Dukes, J.S. and H.A. Mooney, "Does global change increase the success of biological invaders?", *Trends in Ecology and Evolution*, Vol.14, 135 – 139, 1999.
42. Jackson, S.T. and C.Y. Weng, "Late quaternary extinction of a tree species in eastern North America", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol.96, 13847 – 13852, 1999.
43. Kleidon, A. and H.A. Mooney, "A global distribution of biodiversity inferred from climatic constraints: results from a process-based modeling study", *Global Change Biology*, Vol.6, 507 – 523, 2000.
44. Brito, J.C., E.G. Crespo, and O.S. Paulo, "Modelling wildlife distributions: logistic multiple regression vs overlap analysis", *Ecography*, Vol.22, 251 – 260, 1999.
45. Yee, T.W., and N.D. Mitchell, "Generalised additive models in plant ecology", *Journal of Vegetation Science*, Vol.2, 587 – 602, 1991.
46. Lehmann, A., L.M. Overton, and J.R. Leathwick, "GRASP: generalized regression analysis and spatial prediction", *Ecological Modeling*, Vol.160, 165 – 183, 2003.
47. Franklin, J., "Predicting the distribution of shrub species in southern California from climate and terrain-derived variables", *Journal of Vegetation Science*, Vol.9, 733 – 748, 1998.
48. Rouget, M., D.M. Richardson, and S. Lavorel, "Determinants of distribution of six *Pinus* species in Catalonia, Spain", *Journal of Vegetation Science*, Vol.12,



- 491 – 502, 2001.
- 49.Thuiller, W., “BIOMOD – optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change.” , Global Change Biology, Vol.9, 1353-1362, 2003.
- 50.Sala, O.E., F.S. Chapin III, J.J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L.F. Huenneke, R.B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D.M. Lodge, H.A. Mooney, M. Oesterheld, N.L. Poff, M.T. Sykes, B.H. Walker, M. Walker, and D.H. Wall, “Biodiversity: global biodiversity scenarios for the year 2100” , Science, Vol.287, 1770 – 1774, 2000.
- 51.Milliman, J.D., J.M. Broadus, and F. Gable, “Environmental and economic implications of rising sea level and subsiding deltas: the Nile and Bengal examples” , Ambio, Vol.18, 340 – 345, 1989.
- 52.Still, C.J., P.N. Foster, and S.H. Schneider, “Simulating the effects of climate change on tropical montane cloud forests” , Nature, Vol.398, 608 – 610, 1999.
- 53.李培芬、許嘉恩,「氣候變遷對陸域生物多樣性之衝擊評估及因應策略研究」,環保署/國科會空污防制科研合作計畫期末報告,33 頁,2005。
- 54.李宗祐,「氣候變遷對櫻花鉤吻鮭棲地水溫及族群數之影響」,國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文,2003。
- 55.楊奕岑,「模擬氣候變遷對櫻花鉤吻鮭域外放流棲地水溫與潛在族群數之衝擊」,國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文,2004。
- 56.Forman, R.T.T. and M. Godron, “Landscape Ecology” , John Wiley and Sons, New York, 1986.
- 57.Boyer, D.A. and R.D. Brown, “A survey of translocation of mammals in the United States” , In: Translocation of Wild Animals, Wisconsin Humane Society, Milwaukee, WI, and Caesar Kleberg Wildlife Research Institute, Kingsville, TX, 1988.
- 58.Myers, N., R.A. Mittermeier, C.G. Mittermeier, G.A.B. da Fonseca, and J. Kent, “Biodiversity hotspots for conservation priorities” , Nature, Vol.403, 853 – 858, 2000.
- 59.Puigdefabregas, J., “Ecological impacts of global change on drylands and their implications for desertification” , Land Degradation and Development, Vol.9, 393 – 406, 1998.
- 60.劉小如,「永續台灣 2011 子計畫 – 自然資源組現階段研究結果」,中央研究院社會學研究所,28 頁,2000。
- 61.張睿昇、戴昌鳳,「全球變遷對海岸濕地的衝擊與生物群聚的應變」,全球變遷通訊,37 期,11-16 頁,2003。